1. Introdução

Este relatório descreve os procedimentos usados na simulação de povoamentos irregulares e mistos presentes na área do Perímetro Florestal do Cantão das Hortas situado na Serra da Lousã. Esta área é constituída por povoamentos de diferentes espécies, e com idades variadas. Existe uma grande abundância de povoamentos mistos que são, na sua maior parte, também irregulares. A quase inexistência de modelos de silvicultura para este tipo de ocupações motivou a descrição um pouco mais exaustiva dos procedimentos utilizados para a simulação, e definição de alternativas de gestão.

O simulador enquadra-se no sistema de apoio à decisão descrito sumáriamente na Figura 1. Este documento enquadra este módulo do SAD tanto nos requisitos de informação de entrada necessária para o seu correcto funcionamento, como os outputs resultantes do procedimento de simulação e respectiva integração nos módulos subsequentes (e.g. modelos de decisão e visualizador 3D)

A estrutura proposta para organizar esta informação é a seguinte: Em primeiro lugar, descrevem-se os requisitos de dados para utilização do sistema e dos modelos de produção considerados tanto para simulação como para inicialização de informação em falta. Seguidamente descrevem-se os procedimentos de definição de modelos de silvicultura e geração de alternativas de gestão. A última parte refere-se à integração deste simulador num sistema de apoio à decisão, com referência especial à informação de entrada e de saída.

1.1. Uso do simulador

O programa foi desenvolvido inteiramente em ANSI C podendo correr em qualquer plataforma. A versão executável correntemente disponível foi compilada com o compilador de C/C++ da Microsoft, versão 12.00.8804 e corre em qualquer sistema Win32 (Windows 9x, Me, 2000 e XP). Não tem qualquer interface gráfico,

necessitando da linha de comandos para ser executado. Esta simplicidade reflete-se também no procedimento de instalação que consiste apenas em copiar o programa executável (simulador.exe) para a directoria desejada.
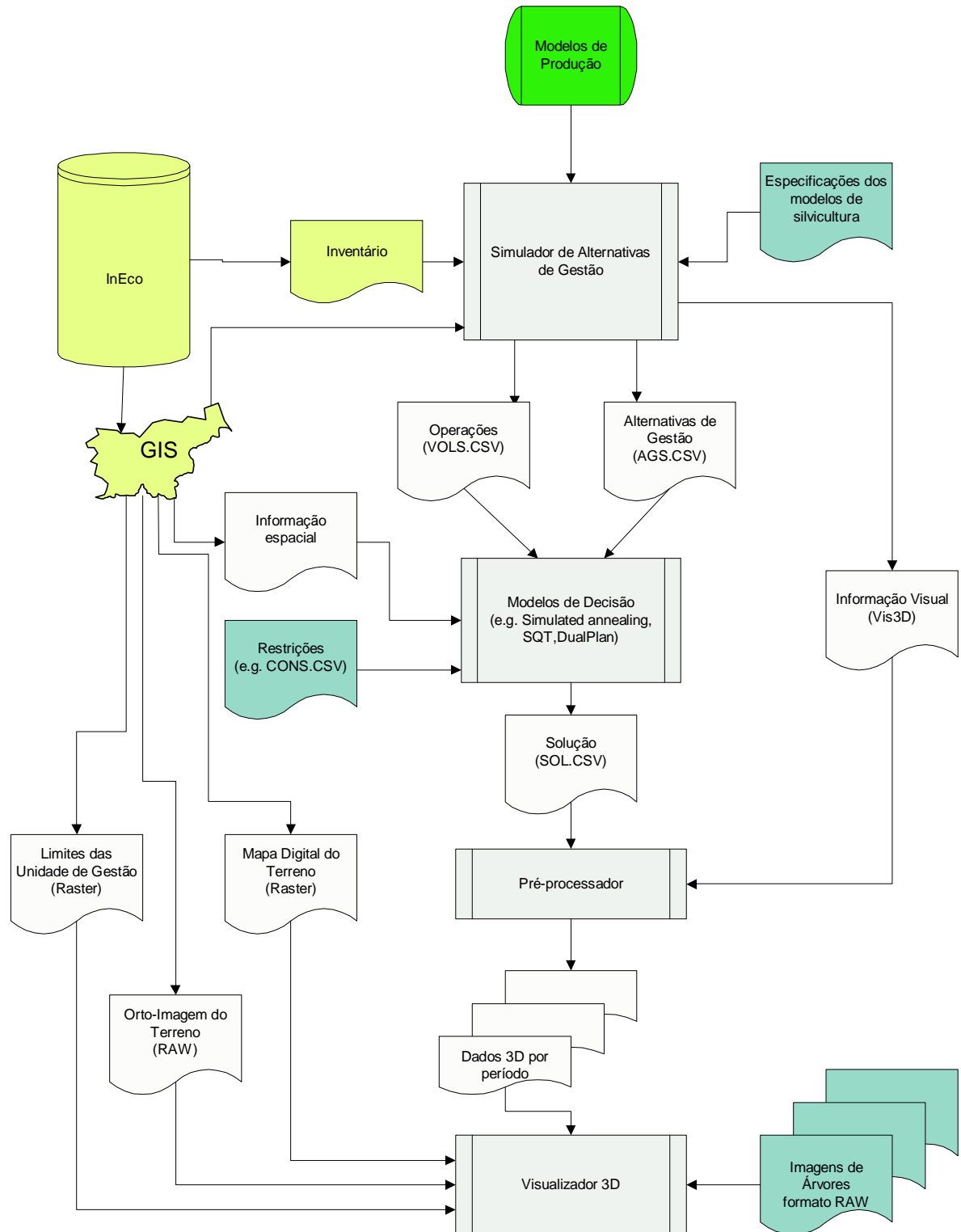
Figura 1. Enquadramento do Simulador no Sistema de apoio à decisão

Para executar o programa basta digitar na linha de comandos:

c:\> **simulador [modsilv] [invent]**

O programa usa 2 parâmetros de entrada. O primeiro (modsilv) especifica os modelos de silvicultura a utilizar para cada espécie (secção 2.4) e o segundo (invent), o ficheiro de inventário que será processado. Ambos os ficheiros são binários e deverão ter as especificações definidas ao longo do texto

Como output, o programa produz na directoria onde foi instalado os seguintes ficheiros:

- vis3d.dat
- ags.csv
- vols.csv

Estes ficheiros contém toda a informação necessária para ser usada pelos módulos subsequentes do SAD. (modelos de gestão e visualisador 3D)

2. Inventário e inicialização

Os modelos de produção utilizados neste sistema são os definidos num trabalho anterior (Falcão e Marques, 2002). Trata-se de um modelo de produção ao nível do povoamento, que procura modelar o crescimento da área basal e altura dominante por meio de equações às diferenças, procurando estimar o volume com base nestas duas variáveis. Este modelo inclui ainda equações de inicialização da idade para povoamentos em que esta variável não tenha sido medida. Existem assim 2 funções de crescimento para cada variável biométrica (altura dominante e área basal) uma para o caso de se utilizar a idade conhecida, outra para uma idade estimada.

O modelo é igual para todas as espécies consideradas, variando apenas os parâmetros das funções respectivas. Este procedimento além de facilitar a implementação do código, permite ainda a parâmetrização dinâmica dos modelos. Os parâmetros para as diferentes espécies são assim fornecidos externamente ao programa ao mesmo tempo que os modelos de silvicultura.

2.1. Requisitos de utilização

Para a utilização do simulador é necessária a existência de 3 tipos de informação:

a) Informação geográfica com os limites e áreas correspondentes às unmidades de gestão a considerar.

b) Informação de inventário: proveniente do sistema de gestão de informação e pré-processada para fácil leitura pelo programa de simulação.

c) Ficheiros com os parâmetros de crescimento e modelos de silvicultura para cada uma das espécies consideradas

Esta informação é fornecida ao programa através dos dois dois ficheiros de entrada descritos na secção 1.1. A informação geográfica e de inventário entam num ficheiro único, com uma estrutura dupla (secção 2.2) enquanto que os parâmetros de crescimento e modelos de silvicultura são fornecidos num ficheiro único de estrutura simples (secção 2.4)

2.2. Informação de inventário

O inventário é constituído por informação de dois tipos. A primeira referente a informação característica do povoamento e a seguinte, informação característica de cada uma das espécies que o constituem. Assim, para cada povoamento, existe um cabeçalho constituído pelas variáveis descritas na Tabela 1., seguindo-se tantos registos quantas as espécies presentes nesse povoamento (Tabela 2.)

Tabela 1. - Variáveis presentes no cabeçalho do ficheiro com informação de inventário.

Variável	Tipo	Descrição
`id_pov`	int	id do povoamento na base de dados e SIG
`area`	float	área em hectares
`n_especies`	int	nº de espécies inventariadas

Tabela 2. - Variáveis relativas ao inventário de cada espécie para cada povoamento

Variável	Tipo	Descrição
`spec_id`	int	Id da espécie (*)
`dmed`	float	Diâmetro médio
`dmax`	float	Diâmetro máximo
`hmed`	float	Altura média das árvores
`hmax`	float	Altura Dominante
`narvs`	float	Número de árvores por hectare
`ab`	float	Área basal
`vol`	float	Volume
`age`	float	Idade
`si`	float	Classe de qualidade

2.3. Inicialização de informação em falta

Algumas das variáveis de inventário poderão não existir ou ter sido medidas. Para estes casos propuseram-se os seguintes procedimentos de inicialização.

2.3.1. Inicialização das áreas de ocupação

A área de ocupação de cada espécie em povoamentos mistos e irregulares é complexa e revest-se de numerosas subtilezas. Tradicionalmente recomenda-se atribuir tanta área quanta a proporção de área basal correspondente. Este método poderá funcionar apenas para povoamentos regulares em que a idade seja conhecida. Em povoamentos irregulares, em que, por exemplo, uma espécie seja bastante mais velha do que a outra, esta metodologia pode, em primeiro lugar, dar estimativas claramente deficientes; em segundo lugar, caso a idade de ambas as espécies não seja conhecida, será necessária uma inicialização, que caso a atribuição de área não seja adequada ficará claramente enviesada. A mesma metodologia usando o número de árvores pode ter os mesmos efeitos porém em sentido diverso.

Para colmatar estas falhas usou-se um método que usa o número potencial de árvores na estação, que se descreve a seguir:

1. Para cada espécie é calculado um índice de ocupação total (IOT), baseado no factor de Wilson (fW) seleccionado para cada espécie e na altura dominante (Hdom) da espécie no povoamento:

   $$IOT = \frac{10000}{(Hdom * fW)^2}$$

   Este valor indica o número de árvores por hectare que idealmente deveriam estar presentes.

2. Seguidamente verifica-se qual é de facto a percentagem de ocupação da estação pela espécie considerada:

   perc_ocup= narvs/IOT

   se este valor for superior a 1.0, passa a igual a 1.0.

3. Seguidamente calcula-se a área que corresponde à ocupação real da espécie, multiplicando a área do povoamento pela percentagem de ocupação calculada no ponto anterior

4. Efectua-se este procedimento para todas as espécies inventeriadas no povoamento, somando as respectivas percentagens de ocupação

5. Uma vez que o somatório das percentagens de ocupação pode ser superior a 1.0, ponderam-se os valores correspondentes à área ocupada e à percentagem de ocupação de cada espécie pelo somatório calculado no ponto 4.

2.3.2. Inicialização da idade

A inicialização da idade usa as equações descritas em Falcão e Marques (2002), que necessitam da altura dominante e área basal média

2.3.3. Inicialização da classe de qualidade

A classe de qualidade é determinada para cada espécie, projectando o crescimento em altura dominante para a idade base considerada. A idade base é dependente da espécie e é definida pelo utilizador.

2.3.4. Área basal

O crescimento em área basal é calculado usando um "índice de classe de qualidade" para a área basal que é calculado para a mesma idade base da altura dominante. Qualquer simulação posterior usa, á semelhança da altura dominante, projecções a partir desse indíce e idade. Ao contrário da altura dominante, a simulação em área basal não é um processo imediato tendo de ser calculado em várias etapas, tantas quantas os desbastes que ocorrem:

2.3.5. Valor de uso do solo

Para comparar alternativas de gestão é importante que o uso do solo seja convenientemente calculado para cada unidade de gestão. A metodologia usada assume que as proporções de espécies no povoamento se mantêm à perpetuidade. São então testadas as diferentes possibilidades de revolução para cada espécie componente do povoamento e escolhida aquela que maximiza o rendimento líquido. O valores calculados são então projectados à perpetuidade pela fórmula de Faustmann

Para aplicar os valores calculados a cada alternativa de gestão, o procedimento utilizado é o seguinte:

1. aplica-se o modelo de silvicultura em questão a cada espécie do povoamento até ao fim do período de planeamento
2. Se a idade de explorabilidade económica óptima for superior à idade da espécie no último ano do período de planeamento, simula-se um corte no primeiro ano a seguir e passa-se para o ponto 4. Caso contrário passa-se para o ponto 3.

3. Continua-se a simulação, considerando todos os rendimentos intermédios até se atingir a idade de explorabilidade óptima, altura em que se simula um corte raso
4. Soma-se ao rendimento total o valor do solo calculado à perpetuidade, actualizado a partir do período do último corte

2.4. Especificações dos modelos de silvicultura

O ficheiro tipo com os modelos de silvicultura e parâmetros dos modelos de produção é um ficheiro binário que apresenta a estrutura representada na tabela 3

Tabela 3 - Estrutura do ficheiro de modelos de silvicultura

Variável	Tipo	Descrição
`spec_id`	int	ID da espécie (tabela 4)
`min_price`	float	Preço mínimo da madeira
`max_price`	float	Preço máximo da madeira
`mint_volume`	float	Idade a que a produção começa
`maxt_volume`	float	Idade a que a madeira atinge o seu valor máximo
`min_age`	float	Idade mínima de corte final
`max_age`	float	Idade máxima de corte final
`si_base_age`	float	Idade base para definição de classe de qualidade
`thinning_period`	float	Período de desbaste
`fWilson`	float	Factor de Wilson
`Ma_si` `aa_si`	float	Parâmetros da função de crescimento da área basal quando a idade é desconhecida
`Ma` `aa`	float	Parâmetros de crescimento da área basal quando a idade é conhecida
`Mh_si` `ah_si`	float	Parâmetros da função de crescimento da altura dominante quando a idade é desconhecida
`Mh` `ah`	float	Parâmetros da função de crescimento da altura dominante quando a idade é conhecida
`B0_v`	float	Parâmetro da função de avaliação do volume em pé de um povoamento

`B0_i`
`B1_i`
`B2_i`
	float	Parâmetros da função de estimação da idade

A tabela 4 apresenta os diferentes códigos atribuidos às especies florestais presentes na área de estudo

Tabela 4 - Código das espécies

Código	**Espécies**
1	Pinheiro Bravo e Pinheiro Negro
2	Pinheiro Manso
3	Pseudotsuga
4	Castanheiro e Faia
5	Carvalhos
6	Bétula
7	Eucalipto

3. Simulação de alternativas de gestão

A simulação de alternativas de gestão para povoamentos mistos revestiu-se de um procedimento mais complicado do que para povoamentos puros. Optou-se, para manter o maior leque de possibilidades, considerar opções de gestão separadas para cada espécie constituinte. Admite-se ainda que cada espécie pode ser tratada em separado.

Quatro aspectos contudo devem ser realçados. Em primeiro lugar, considerou-se o rendimento líquido ao nível do produtor. Assim, não foram imputados custos a nenhuma operação florestal (desbaste, corte final ou regeneração). Da mesma forma, o valor da madeira é calculado em pé (valor no povoamento).

Tentando afastar o produtor o mais possível dos custos na floresta, assumiu-se também que após o corte, temos uma regeneração natural com a espécie que anteriormente existia.

Finalmente, e porque se pretendia essencialmente com este trabalho de simulação uma avaliação paisagística de diferentes opções de gestão florestal , não se fez discriminação entre áreas de protecção e de produção. Assim, áreas florestais situadas em linhas de água ou em áreas pertencentes à Reserva Ecológica Nacional foram igualmente incluidas no processo de simulação.

De acordo com estes pressupostos, descrevem-se nos pontos seguintes os critérios que presidiram à estruturação dos modelos de silvicultura e alternativas de gestão.

3.1. Modelos de silvicultura

Os modelos de silvicultura considerados neste trabalho são parametrizados externamente ao programa de simulação, sendo introduzido através de um ficheiro que, não só os caracteriza, como atribui valores aos parâmetros dos modelos de crescimento e produção

3.1.2. Desbastes

Devido aos procedimentos de inicialização, os desbastes são regulados com base no factor de Wilson, em que, de acordo com a altura dominante de uma dada espécie, se estabelece um número de árvores desejável no povoamento. Assume-se que os desbastes são uniformes, sendo removidas árvores em todas as classes de diâmetro. O procedimento seguido para a simulação de um desbaste é o seguinte:

1. Calcular área basal total (ba)
2. Subtrair total dos desbastes anteriores
3. Calcular altura dominante e com base no factor de Wilson para a espécie, calcular o numero de árvores desejável
4. Se este número for maior do que o número de árvores actualmente no povoamento, sair.
5. Remover proporção de área basal igual à proporção das árvores removidas

3.1.2. Cortes finais

O corte final é processado de forma semelhante aos desbastes. É necessário projectar o crescimento em área basal total, subtrair a área basal removida em desbaste e calcular o volume total a partir daí. Pela equação de produção respectiva.

For falta de informação, assume-se que a seguir ao corte final, aárea cortada é regenerada pela mesma espécie e com o mesmo grau de ocupação. Varia apenas o número de árvores, que se assume ser de 1667 por hectare, à plantação.

3.2. Definição de alternativas de gestão

A abordagem seguida neste trabalho para a simulação de povoamentos mistos foi considerar que cada espécie pode ser gerida independentemente das outras que compôem cada povoamento. Para evitar uma grande explosão combinatorial, a definição de alternativas de gestão foi feita seguindo a seguinte regra de combinação de modelos de silvicultura: O modelo de silvicultura aplicado após um corte final é idêntico ao que lhe deu origem.

Como exemplo, tomemos o caso de um povoamento misto constituido por Pinheiro e Castanheiro. Podemos assumir que as revoluções possíveis para estas espécies são, respectivamente, 30 a 50 anos e 50 a 80 anos. Admitindo apenas um nível de regulação de desbastes, as 651 alternativas de gestão possíveis para este povoamento são:

1. Cortar o Pinheiro com 30 anos e o Castanheiro com 50

2. Cortar o Pinheiro com 31 anos e o Castanheiro com 50

...

22. Cortar o Pinheiro com 30 anos e o Castanheiro com 51

...

651. Cortar o Pinheiro com 50 anos e o Castanheiro com 80.

As diferentes operações geradas por cada alternativa de gestão são guardadas no ficheiro de saída VOLS.CSV (4.2). Apesar de ser possível guardar informação para cada tipo de produto, optou-se por salvar a totalidade dos volumes como um só (madeira de serração). A valorização de cada produto é contudo diferenciada. Esta opção foi tomada por duas razões: Em primeiro lugar, os modelos de decisão correntemente utilizados só estão preparados para lidar com um produto. Em segundo lugar, devido à reduzida representativdade de cada uma das espécies na área em estudo, não se justifica a existência de restrições de fluxo de volumes separadas

4. Integração no sistema de apoio à decisão

4.1. Ligação ao sistema de gestão de informação

No capítulo 2 foi referida a ligação estática entre o simulador e o sistema de informação. Como é visivel pela estrutura e formato requeridos pelo programa, é sempre necessário um pré-processamento da informação. O procedimento desenvolvido usa um ficheiro com a informação básica do inventário discriminada por espécie, em fomato CSV - mas que poderia estar assim organizada em qualquer RDBMS. Estes dados são depois filtrados por um programa desenvolvido em Visual Basic (Anexo A) que produz directamente a informação no formato requerido pelo simulador

4.2. Saída para modelos de gestão

O sistema produz dois ficheiros que alimentam modelos de gestão de carácter geral, e que têm a estrura definida num trabalho anterior (Falcão 2001). Essencialmente, é descrito o valor definido pela aplicação de cada alternativa de gestão a cada povoamento e as características de cada intervenção produtiva ao longo do período de simulação. Esta informação é representada sob a forma de duas tabelas, designadas genericamente de AGS e VOLS.

Tabela 5. Estrutura do ficheiro de saída do simulador com informação das operações anuais poara cada alternativa de gestão (VOLS.CSV)

Variável	Tipo	Descrição
id_pov	int	ID interno da unidade de gestão
id_pov_db	int	ID da unidade de gestão – igual ao de INfLOR
id_ag	int	ID da Alternativa de gestão aplicada a essa UG
periodo	int	Altura em que se realiza a operação
idade	int	Idade do povoamento na altura da operação
volume	float	Volume produzido
operacao	int	Código da operação realizada
produto	int	Código do produto

A outra tabela produzida tem informação para cada alternativa de gestão de cada povoamento. Serve para caracterizar cada alternativa de gestão associada a cada unidade de gestão. Neste caso a chave resume-se a IDUG_DB e a ID_AG.

Tabela 6 - Estrutura do ficheiro com informação genérica para cada alternativa de gestão (AGS.CSV)

Variável	Tipo	Descrição
id_pov	int	ID interno da unidade de gestão
id_pov_db	int	ID da unidade de gestão – igual ao de INfLOR
id_ag	int	ID da Alternativa de gestão aplicada a essa UG
rend	float	Valor actual líguido da AG
idade_if	int	Idade no Inventário Final

Ambas as tabelas são exportadas em formato CSV que, juntamente com o ficheiro com as especificações das restrições, é utilizado pelos modelos de decisão genéricos delineados na arquitectura do SADfLOR (Falcão e Borges 1999).

4.5. Saida para o visualizador 3D

A saída para o visualisador 3D consiste de informação que geralmente não é utilizada para a escolha de alternativas de gestão pelos modelos de decisão mas que contudo é fundamental para ajudar o programa de visualização a desenhar as árvores. Essa informação é exportada em formato binário para uma tabela com a seguinte estrutura:

Tabela 7 - Estrutura do ficheiro de saída com informação para o visualisador 3D (vis3d.dat)

Variável	Tipo	Descrição
id_pov	int	id do povoamento
id_pov_i	int	id do povoamento interno
presc	int	alternativa de gestão
per	int	período
spec_id	int	ID da espécie
hmax	float	altura máxima
narvs	float	Número de árvores
po	float	Percentagem de ocupação

Temos, desta forma, 1 registo para cada espécie de cada povoamento, por período, para cada alternativa de gestão.

Um programa de pós-processamento retirará deste ficheiro apenas a informação relativa à alternativa de gestão seleccionada pelos modelos de decisão, e definirá o output final a servir de entrada para o visualisador.

BIBLIOGRAFIA

Falcão, A. 2001, Implementação de métodos heurísticos para modelação da gestão em ecossistemas florestais- Integração num Sistema de Apoio à Decisão. Dissertação de doutoramento. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Falcão, A. e J. G. Borges. 1999. SAGfLOR 2.0 - Simulador de Alternativas de Gestão. Manual de Utilização, Grupo de Economia e Planeamento em Recursos Florestais, Documento nº5, DEF, Lisboa, 43 p.

Falcão, A. A. Marques, A 2002, Metodologia expedita para simulação do crescimento e produção de algumas espécies florestais portuguesas GEGREN - Documento Interno 01/02. Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 18 pp.

Anexos

A. Código VB para conversão de um ficheiro CSV com a informação de inventário para input no simulador

```
Private Sub Command1_Click()

    Dim lin As String, nspec_stand As Long, s As Long, nspecs As Long
    Dim area(100) As Single, dmed(100) As Single, dmax(100) As Single
    Dim hmax(100) As Single, hmed(100) As Single, narvs(100) As Single, ab(100) As Single
    Dim id(100) As Long, spec(100) As Long, si(100) As Single, idade(100) As Single,
    dim vol(100) As Single

    Dim area1 As Single, dmed1 As Single, dmax1 As Single
    Dim hmax1 As Single, hmed1 As Single, narvs1 As Single, ab1 As Single
    Dim id1 As Long, spec1 As Long, si1 As Single, idade1 As Single, vol1 As Single


    Open "c:\spdata\data\lousa2.csv" For Input As #1
    Open "c:\spdata\data\lousa2.bin" For Binary As #2
    Input #1, nspec_stand
    'Put #2, , nspec_stand
    Line Input #1, lin

    s = 1
    Input #1, id(s), spec(s), area(s), dmed(s), dmax(s), hmax(s), hmed(s), narvs(s), ab(s),
                                                                          idade(s), si(s)
    While Not EOF(1)
        Input #1, id1, spec1, area1, dmed1, dmax1, hmax1, hmed1, narvs1, ab1, idade1, si1
        If id(1) = id1 Then
            s = s + 1
           Else
            nspecs = s 'clumsy!
            'header!!!
            Put #2, , id(1)
            Put #2, , area(1)
            Put #2, , nspecs
            List1.AddItem id(1) & vbTab & area(1) & vbTab & nspecs
```

```
            For s = 1 To nspecs
                Put #2, , spec(s)
                Put #2, , dmed(s)
                Put #2, , dmax(s)
                Put #2, , hmed(s)
                Put #2, , hmax(s)
                Put #2, , narvs(s)
                Put #2, , ab(s)
                Put #2, , vol(s)
                Put #2, , idade(s)
                Put #2, , si(s)
             Next
             s = 1
        End If
        id(s) = id1
        spec(s) = spec1
        area(s) = area1
        dmed(s) = dmed1
        dmax(s) = dmax1
        hmax(s) = hmax1
        hmed(s) = hmed1
        narvs(s) = narvs1
        ab(s) = ab1
        vol(s) = vol1
        idade(s) = idade1
        si(s) = si1
    Wend
    nspecs = s 'clumsy!
    'header!!!
    Put #2, , id(1)
    Put #2, , area(1)
    Put #2, , nspecs
    List1.AddItem id(1) & vbTab & area(1) & vbTab & nspecs
    For s = 1 To nspecs
        Put #2, , spec(s)
        Put #2, , dmed(s)
        Put #2, , dmax(s)
        Put #2, , hmed(s)
        Put #2, , hmax(s)
        Put #2, , narvs(s)
        Put #2, , ab(s)
        Put #2, , vol(s)
        Put #2, , idade(s)
        Put #2, , si(s)
     Next
    Close #1, #2
End Sub
```